

# Holter con memorias SD y sistema experto de evaluación cardíaca

Pfarher, Iván – Reula, Germán - Tovorosky, Pablo – Zanin, Miguel –  
Caballero Raul - Maggiolo Gustavo  
UTN – Facultad Regional Paraná – Cátedra de Técnicas Digitales

## RESUMEN

Este desarrollo se enmarca dentro de las actividades de la cátedra de Técnicas Digitales de Ingeniería en Electrónica en UTN-FRP y tiene como objeto potenciar la capacidad de diseño de los alumnos. En este caso se ha desarrollado un sistema holter utilizando memorias SD comunes en el mercado de las cámaras fotográficas implementando además un sistema ordenador de control a partir del uso de un microcontrolador con el sistema de operación y de captura embebido correspondiente para la captura, el filtrado, tratamiento, almacenamiento y protección de los datos recabados.

El sistema cuenta además con el software de transmisión desde el holter a una PC estándar con capacidad de mostrar la señal cardíaca en forma cronológica o determinada por etapas. Ofrece también información al profesional médico sobre modificaciones de la frecuencia cardíaca según los parámetros establecidos por el mismo profesional y modificaciones en la forma del PQRS.

La segunda etapa de este desarrollo es la optimización de algoritmos FAT para el sistema embebido y la generación de un motor de inferencia con sus reglas correspondientes para la creación de un sistema experto que tenga en cuenta la información ingresada sobre el paciente y su historia clínica, los medicamentos de tratamiento con sus contraindicaciones y la información suministrada por el holter y el sistema, ayudando de esta manera al profesional médico.

## Introducción

Hace ya algunos años, se lanzaron al mercado las tarjetas Flash SD Card.

Primero como medio de almacenamiento para cámaras digitales y PDA's, pero el avance de esta tecnología ha sido increíble y hoy se consiguen en el mercado tarjetas SD con más de 2GB de capacidad. Esto y su reducido tamaño las convierte en uno de las principales candidatas; como ocurre actualmente; a convertirse próximamente en la principal tecnología para el almacenamiento de cualquier tipo de datos en dispositivos portátiles e inclusive en computadoras.

Aprovechando el antes mencionado avance tecnológico que presentan estas tarjetas de memoria, se decidió el desarrollo de un "Holter con memorias SD y sistema experto de evaluación cardíaca", este tipo de dispositivos, conocidos generalmente como *HOLTERS* se utilizan para capturar las señales del ECG de un paciente por un lapso de 24 o 48 horas mediante las cuales el

individuo realiza sus actividades cotidianas en forma normal. Si bien esta práctica médica se realiza desde la década del 60 el almacenamiento de la información originalmente se hacía en cinta magnética y se requería de equipamiento de alto costo para la evaluación de la información. Estos equipos han evolucionado con el desarrollo de la electrónica, la integración de memorias y el uso extendido de la Computadora Personal.

El Holter es una de las diferentes técnicas que utilizan los médicos cardiólogos para el estudio de sus pacientes además del electrocardiograma clásico, la ergometría, los ecocardiogramas y otros.

En nuestro país el costo de este equipamiento es relativamente elevado considerando las prestaciones y el origen.

Si bien este desarrollo no tiene como objetivo fundamental la competencia comercial del producto se tiene en vista al mismo para establecer una comparativa competitiva del desarrollo tecnológico que puede

lograrse desde nuestros estudiantes respecto de productos comerciales nacionales o extranjeros.

### **Qué se debía medir**

Toda célula viviente animal o vegetal produce una diferencia de potencial entre su interior y el medio líquido que los rodea que se denomina "Potencial de reposo" o "Potencial de reposo de Membrana". El rango de este potencial varía entre los 40 a 120 mV. Las células pueden ser muy excitables o "poco excitables", las primeras responden produciendo un efecto ante los estímulos de las células musculares y las células nerviosas.

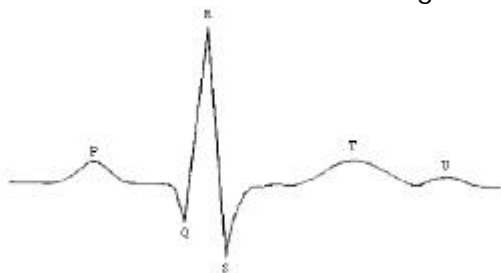
Estas a su vez son las que generan los mayores cambios en sus potenciales eléctricos de transmembrana como respuesta a estos estímulos que se denominan "potenciales de acción" y que se ubican entre los rangos de 100 y 130mV en el hombre.

### **La actividad eléctrica del corazón.**

El corazón funciona como una bomba doble que hace circular la sangre hacia el circuito pulmonar por el intercambio gaseoso y hacia el resto del cuerpo para llevar oxígeno y nutrientes, y recoger los desechos del metabolismo.

Colocando electrodos sobre la superficie del cuerpo en lados opuestos del corazón es posible amplificar y registrar la actividad eléctrica mediante un osciloscopio o un electrocardiógrafo.

La señal obtenida es similar a la siguiente:



Donde a cada una de las características sobresalientes se le ha dado una designación alfabética.

El segmento horizontal de esta forma de onda que precede a la onda P se designa como línea de base o línea isopotencial. La

onda P representa la despolarización de la musculatura auricular. El complejo QRS es el resultado combinado de la repolarización de las aurículas y la despolarización de los ventrículos que se producen casi simultáneamente. La onda T es la onda de la repolarización ventricular, mientras que la onda U, si está, se cree generalmente que es el resultado de potenciales posteriores en los músculos ventriculares. El electrocardiograma es el registro gráfico o la visualización por otro medio de los potenciales, variables con el tiempo, producido por el miocardio durante el ciclo cardíaco. Para el médico, la forma y la duración de cada componente del ECG presenta un significado. Con todo, la señal depende en gran manera de la configuración de conexiones empleada, tal veremos mas adelante. En general, para alcanzar un diagnóstico, el cardiólogo observa con detalle los distintos intervalos de tiempo, las polaridades y las amplitudes.

### **Etapas de desarrollo del proyecto**

El grupo de trabajo decidió dividir el desarrollo del proyecto en dos áreas. La correspondiente al hardware y la del software. Pese a esta división se comenzó con el primer área atento a que sin la creación del dispositivo no podría aplicarse el sistema de operación que este requiriese.

Además de esto y para el adecuado diseño se necesitó del conocimiento cabal de los aspectos médicos y biológicos de la señal a medir y capturar y el análisis de los biopotenciales en juego asociado a las posibles fuentes de ruido para la adecuada captura, filtrado y protección de la señal del ECG.

Por otro lado se trabajó sobre los protocolos de control de las memorias SD, sus técnicas de lectura, escritura y transmisión utilizando protección CRC y la selección de un conversor para la digitalización y almacenamiento de la señal capturada.

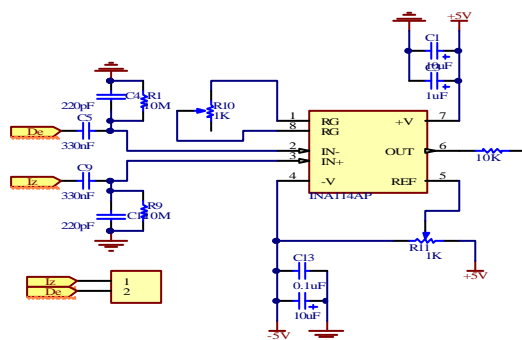
En lo específico se diseñaron circuitos y software para:

- La adquisición y filtrado de la señal de ECG
- La adecuación de la señal capturada y digitalizada.

- La evaluación y prueba de amplificadores de instrumentación para el sensado de la señal con un máximo de transferencia del biopotencial.
- El filtrado de la señal capturada para lo cual se diseñaron filtros pasa bajo, pasa alto y elimina banda para eliminar el ruido presente en la señal.
- La elaboración de la placa de captura. La misma incluye los amplificadores de instrumentación, el sistema de digitalización, los filtros y el esquema ordenador y de almacenamiento.
- La digitalización de la señal capturada y almacenamiento en la memoria SD.
- Manejo de las memorias mediante la PC: Trabajándose en principio con un acceso mediante puerto paralelo y luego a través de puerto USB.
- Diseño y construcción de la placa de desarrollo para memorias SD: Se diseño e implemento una placa para el desarrollo de aplicaciones con memorias SD y microcontroladores.
- Software de adquisición: Se desarrollaron dos softs para la digitalización de la señal del ECG, uno para grabarlo en el microcontrolador y otro para mostrar en la PC la señal digitalizada.
- Diseño y desarrollo de la placa de adquisición: Se implemento la placa de digitalización, a la cual se conecta la placa desarrollada por el otro grupo.
- Pruebas y ajustes.

### Circuitos

En la siguiente figura vemos el circuito correspondiente al amplificador de instrumentación.



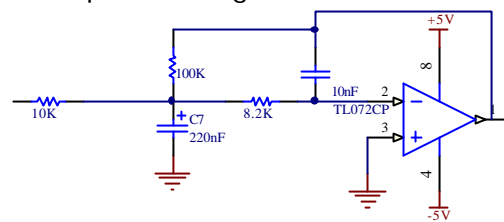
A continuación los filtros para eliminar

- ✓ Ruido de línea (interferencia 50Hz)

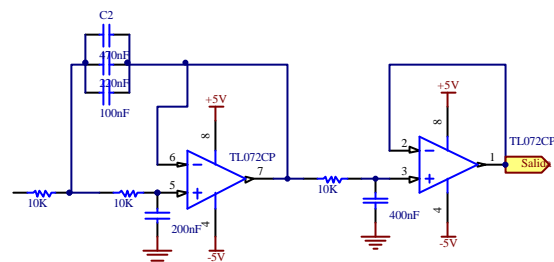
- ✓ Componente de continua (DC) generada por el conjunto electrodo-piel.
- ✓ Ruido en alta frecuencia.

### Filtros

Este filtro es tipo activo, de segundo orden, con una frecuencia de corte de 100[Hz] y con una ganancia de 20[dB], es decir 10 veces. Con esto y el amplificador, logramos una ganancia total de 2000 veces. Tiene como objetivo remover el ruido de alta frecuencia y limitar en banda la señal para su posterior digitalización.



También se incluye un filtro pasa bajos de 3er. orden Butterworth, el cual tiene como frecuencia de corte 40[Hz] y ganancia 1.



### Modo SPI Comunicación de la Memoria

Para la comunicación con la tarjeta se utilizó este modo ya que se necesitan solo cuatro líneas de comunicación, **DATA IN**, **DATA OUT**, **CS** y **CLK**. La memoria recibe los datos y los comandos por DATA IN y envía datos por DATA OUT. Para habilitar la tarjeta se debe poner en bajo el Terminal CS. La señal de CLK que se envía desde la PC es la que establece la velocidad de la comunicación.

### Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación esta basado en comandos, los cuales son enviados serialmente a través de DOUT y la respuesta al comando es recibida a través de DIN.

Los comandos de la tarjeta tienen un tamaño fijo (6 bytes). Donde la convención es que primero se envía el bit más significativo del byte más significativo del comando. El formato de los comandos es el siguiente:

0	1	bit 5..bit 0	bit 21..bit 0	bit 6..bit 0	1
start bit	host	command	argument	CRC7	end bit

Donde el primer byte contiene el bit de inicio, el host y el identificador del comando a enviar, los siguientes 4 bytes contienen el argumento para dicho comando y el último byte representa el CRC7 1 que es calculado por la tarjeta de la siguiente forma:

7-bit CRC Calculation:  $G(x) = x^7 + x^3 + 1$

$M(x) = (\text{start bit}) \cdot x^{30} + (\text{host bit}) \cdot x^{28} + \dots + (\text{last bit before CRC}) \cdot x^0$

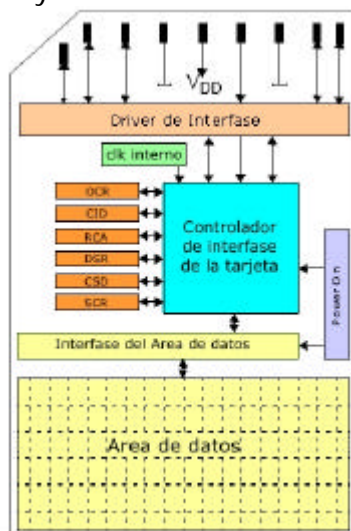
$\text{CRC}[6..0] = \text{Remainder}[(M(x) \cdot x^7) / G(x)]$

### Estructura interna de la tarjeta

Internamente la tarjeta posee un área de almacenamiento y una zona de registros de configuración e información acerca de la misma.

El área de almacenamiento esta dividida en dos sectores independientes, un sector de almacenamiento común y un sector protegido al cual solo se puede acceder si el dispositivo se identifica.

La zona de registros esta conformada por cinco registros de información, el CID, CSD, OCR, SCR y RCA.



### El Microcontrolador

El microcontrolador utilizado en el proyecto es el 16F877 de la empresa Microchip. La

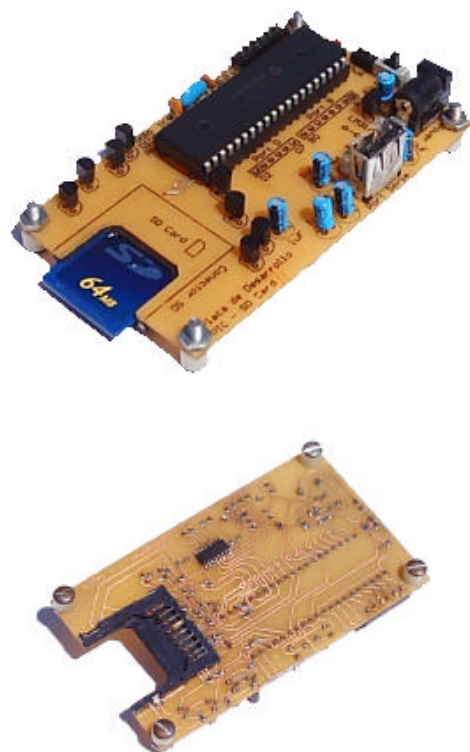
selección se estableció ya que 5 puertos bidireccionales, conversor AD de 10 bits, protocolo de comunicación SPI, USART, frecuencia de reloj de 20 MHz y que es fácil de conseguir en el mercado. El microcontrolador tiene como función principal convertir la señal analógica proveniente del ECG en digital y almacenarla en la memoria SD.

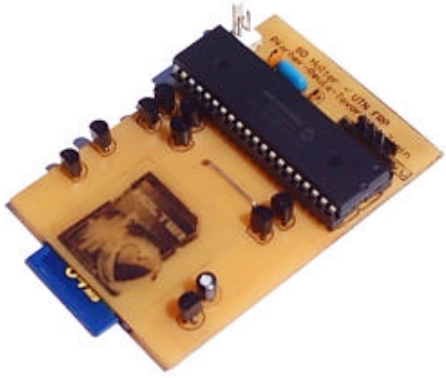
Para establecer la frecuencia de muestreo, esta debe cumplir con el teorema de Nyquist, es decir que la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual que dos veces la frecuencia de la señal analógica. Por lo tanto debemos utilizar una frecuencia de muestreo de 200 Hz, es decir tomar una muestra cada 5 ms.

A la hora de programar el microcontrolador, se optó por hacerlo en lenguaje C, utilizando el compilador PCW de CCS. Uno de los motivos que llevaron a esto fue lo complejo de los algoritmos de comunicación con la memoria.

### Placas de desarrollo

Para la comunicación entre el microcontrolador y la memoria se diseñó una placa de desarrollo que se llamó PIC-SD





### **Consideraciones finales**

En este proyecto se llegó a una etapa de desarrollo que permitió la generación de un dispositivo confiable de captura de señal con una autonomía de 24 horas. Se diseñó software para la transmisión de datos entre el equipo y la PC como así también para la visualización de la señal electrocardiográfica y los rangos por la cual la misma progresó

durante el período de captura. Si bien no se logró llegar aún al nivel de un instrumento comercial, este equipo se le aproxima mucho y su costo es considerablemente menor que el de estos.

Los pasos siguientes en la prosecución de este trabajo incluyen desde la parte del hardware la optimización del mismo y la mejora en los circuitos de reducción-eliminación de ruido.

Por otro lado y como parte de un sistema integrado pero de implementación independiente se pretende iniciar la generación de un sistema experto que a partir de la información ingresada sobre el paciente y su historia clínica, los medicamentos de tratamiento con sus contraindicaciones y la información suministrada por el holter y el sistema, permite al profesional médico emitir un diagnóstico más certero.